

Maître de conférence UPMC depuis septembre 2001 – échelon 7

Laboratoire d'Étude du Rayonnement et de la Matière en Astrophysique et Atmosphères (LERMA) – UMR8112 - Code RNSR: 200212769A

Date de Recrutement : 1^{er} septembre 2001

Date de Titularisation : 1^{er} septembre 2002

Date de naissance : 20 juin 1969 à Vaulx-en-Velin
2 enfants

Tél : 01.40.51.20.61 Fax : 01.40.51.20.02

E-mail : Anne-Laure.Melchior@obspm.fr

Adresses professionnelles :

LERMA, UMR8112, Observatoire de Paris, 61, avenue de l'Observatoire, 75014 Paris

LERMA, UMR8112, Tour 24/34 – 5^{ème} étage – bureau 518, 4, place Jussieu 75252 Paris Cedex 05

Déroulement de carrière

01/09/2001 – recrutement échelon 1

1/09/2017 – échelon 7

2003-2005 – CRCT 6 mois

Délégation CNRS 6 mois

2009-2010 – Délégation CNRS 6 mois

2017-2018 – Délégation CNRS 6 mois

Distinctions et prix

Mai 2009 : médaille d'argent (catégorie TIC/« *Information and Communication Technologies*») de la Commission européenne remise à l'occasion de la conférence « *Innovation and Creativity in the LifeLong Learning Programme : Create, Innovate and Cooperate* », à Prague dans le cadre de la présidence tchèque.

Publications : 29 publications recherche (rang A), 34 compte-rendu de conférence, 9 compte-rendu de conférence à caractère pédagogique

Résultats majeurs

- Détection de gaz moléculaire dans la partie centrale de la galaxie d'Andromède.
- GALMER : bibliothèque de simulations de collision de galaxies.
- Correction K de galaxies à $z < 0.3$.
- Détection d'objets compacts par effet de microlentille gravitationnelle en direction d'Andromède.

Pilotage et participation à des projets et programmes de recherche

- PI français d'un projet PICS (no 6590) franco-russe (2015-2017), intitulé « Mécanismes d'évolution des galaxies dans l'Univers Local et à *redshift* intermédiaire ».
- PI projet PNCG (2013-2014) intitulé « *Diagnostics from ionised gas lines in 'retired' galaxies* »
- PI projet PNCG (2016-2017) intitulé « *Characterizing the closest LINER: Andromeda's bulge* »

Bilan des travaux de recherche des 5 dernières années

Au cœur d'Andromède et au-delà

Étude du gaz moléculaire à moins de 1 kpc du trou noir

Contexte

La galaxie d'Andromède est une galaxie massive du groupe Local. Son étude permet d'étudier en détail les propriétés de ce type de galaxie. Elle est l'un des objets de l'hémisphère Nord le plus étudié. De nombreuses études ont portées sur son disque que l'on observe avec une inclinaison de 77 degrés, et sur les débris de marée que l'on observe au-delà du disque. Contrairement à la Voie Lactée, elle semble avoir subi dans le passé de nombreuses interactions. Cela permet de tester différents scénarios cosmologiques dans la mesure où une telle galaxie est l'aboutissement de l'évolution d'une galaxie contenant des étoiles qui ont l'âge de l'Univers.

Mes travaux de recherche portent sur l'étude du gaz contenu dans la partie centrale. Cette zone n'est en général pas étudiée dans les grands sondages qui couvrent de très grandes surfaces angulaires mais qui n'ont pas la sensibilité requise pour détecter du gaz aussi faible.

Détection de l'anneau interne à 0.7 kpc en gaz moléculaire

Nous avons détecté de l'émission CO, qui trace la présence de gaz moléculaire, à plusieurs positions à moins de 1 kpc du centre de M31, correspondant à l'extinction par les poussières. Nous avons également montré qu'il y a une excellente correspondance entre l'extinction par les poussières mesurée dans l'optique et l'émission des poussières dans le proche infra-rouge à 8 μm . Certaines des positions que nous avons observées correspondent à l'anneau interne, détecté en émission par IRAC avec Spitzer (Block et al. 2006). Cet anneau était aussi présent dans les données ISO étudiées par Willaime et al. (2001) et dans les cartes de gaz ionisées réalisées par Jacoby et al. (1985). L'information en vitesse apportée par les raies CO a révélé une structure cinématique complexe, différente de la dynamique des gaz atomique et ionisé. Au niveau des positions Nord-Ouest de l'anneau interne, deux composantes à fort rapport S/N ont été détectées de chaque côté de la vitesse systémique. La composante avec la vitesse attendue d'après la courbe de rotation et l'angle de position présente une large dispersion en vitesse et correspond probablement au disque nucléaire. Comme il y a un fort gradient dû à la rotation centrale, le spectre intégré dans la fonction de transfert peut facilement avoir une largeur de 100 km/s. La seconde composante, décalée vers le rouge par rapport à la vitesse systémique, a une plus faible dispersion de vitesse, car ce n'est pas un disque plein mais un anneau relativement étroit. Nous avons utilisé des rayons entre 0.4 et 0.8 kpc pour la modélisation. Ainsi, la composante particulière semble être en contre-rotation, car le gaz est dans un anneau incliné, presque perpendiculaire par rapport au disque interne. Leur inclinaison sur le plan du ciel est similaire, ce qui explique pourquoi l'amplitude de la rotation projetée est la même que pour la composante régulière. Les deux disques semblent tourner dans la même direction que le disque principal. L'apparente contre-rotation apparaît seulement sur le petit axe (dans les régions Nord-Ouest et Sud-Est). Dans ce scénario, le sens d'enroulement de la structure spirale est compatible avec celle du disque principal.

En résumé, l'apparente contre-rotation du gaz moléculaire observée le long du petit axe d'Andromède est seulement due à la déformation des composantes centrales probablement liée à la collision frontale avec M32, et non à une réelle contre-rotation.

Étude du gaz moléculaire au centre de l'anneau interne à 100 pc du trou noir

Nous avons étudié la présence de gaz moléculaire à moins de 100 pc du trou noir. Nous avons montré qu'il n'y a pas de gaz moléculaire diffus et étendu, mais des petits grumeaux de gaz. Dans

la zone cartographiée, ils sont situés entre 20 et 215 pc en distance projetée par rapport au centre (et ont été observés avec une résolution de 45 pc). En supposant un seul grumeau de gaz et poussière le long de chaque ligne de visée observée et quelques hypothèses de modélisation, nous avons montré que ces grumeaux sont situés à l'arrière du bulbe, à au moins une profondeur de 150 pc par rapport au centre et probablement plus proches que 600 pc. Si du gaz était présent près du centre (à moins de 10 pc), il serait probablement à l'arrière, possiblement très proche du trou noir. Compte-tenu de la densité stellaire et de la faible masse de ce gaz, il ne serait pas vu en absorption dans l'optique. La cinématique met en évidence une signature inattendue : la plupart des raies sont décalées vers le rouge par rapport à la vitesse systématique, i.e. le gaz ne tourne pas par rapport au centre. Cette signature pourrait être due à un décentrement de la composante moléculaire. Sur plusieurs lignes de visée, il y a plusieurs composantes observées en CO. Notre réanalyse du catalogue de nébuleuses planétaires de Ciardullo et al. (1989) a révélé deux composantes, incompatibles avec une distribution spatiale correspondant au disque principal, et qui seraient compatibles avec nos composantes moléculaires.

En nous basant sur nos détections moléculaires, nous pensons que le gaz et les poussières de l'anneau à 10kpc se superposent sur l'anneau interne à 0.7 kpc au niveau de cette région. L'inclinaison des deux composantes est compatible avec le fait que le gaz et les poussières de la région Sud soient à l'arrière du bulbe.

Mise en évidence d'une ancienne flambée de formation d'étoiles avec l'étude du gaz dense dans l'anneau interne le long du petit axe

Nous avons détecté des raies de gaz $^{12}\text{CO}(2-1)$ et $^{13}\text{CO}(2-1)$ avec plusieurs composantes en vitesse le long du petit axe de M31 de chaque côté de l'anneau interne. Nous avons détecté du gaz dense tracé par les molécules $\text{C}^{18}\text{O}(2-1)$, $\text{HCN}(1-0)$ et $\text{HCO}^+(1-0)$ du côté Nord-Ouest : à la vitesse systémique pour $\text{C}^{18}\text{O}(2-1)$, et décalé vers le bleu pour $\text{HCN}(1-0)$ et $\text{HCO}^+(1-0)$. Nous avons aussi détecté une composante décalée vers le rouge pour les trois molécules en combinant tous les spectres à la vitesse du CO des deux côtés du petit axe. Draine et al. (2014) et Viaene et al. (2014) ont trouvé une intensité du chauffage stellaire plus faible dans la région Nord-Ouest, ce qui pourrait expliquer pourquoi du gaz dense a été détecté directement de ce côté. Une analyse détaillée a montré que $^{12}\text{CO}(2-1)$ était optiquement épais alors que les autres raies CO étaient optiquement fines et proches de l'équilibre thermodynamique à une température d'excitation de 17.5-20 K.

Le gaz est sous la forme de grumeaux et nous avons estimé que le facteur de remplissage du lobe était de 0.8% dans les zones observées. La densité de colonne moyenne de l'hydrogène moléculaire est de $16 \times 10^{22} \text{ cm}^{-2}$. Les abondances dérivées sont plus petites que les abondances standard, sauf pour C^{18}O . La comparaison des abondances dérivées avec des simulations RADEX montre que les gaz HCN et HCO^+ correspondent à des grumeaux denses avec une densité d'hydrogène moléculaire dans l'intervalle $1-6 \times 10^5 \text{ cm}^{-2}$ et une température d'excitation de 9 K. Le rapport de raie HCO^+/HCN est comparable à ce qui a été mesuré dans le disque de M31 par Brouillet et al. (2005), alors que les abondances dérivées sont plus petites que les abondances galactiques (Bergin et al. 1995), avec un désaccord plus grand pour $\text{HCN}(1-0)$. Seulement un objet variable de type ULX a été identifié comme possible source secondaire de chauffage, alors que la population stellaire du bulbe est suffisante pour chauffer le gaz et reproduire les cartes infrarouge.

Nos détections de raies isotopiques CO et HCN/ HCO^+ sont toutes faibles et proche des limites de détection. Nous avons détecté C^{18}O en un seul point à la vitesse systémique. En combinant toutes les détections ^{13}CO , nous avons mis en évidence la présence de gaz C^{18}O dans la composante décalée vers le rouge. Les détections directes et indirectes de C^{18}O ont toutes deux une intensité comparable à celle de ^{13}CO . Comme nous attendions que C^{18}O soit six fois moins abondant que

^{13}CO , et comme l'abondance mesurée de C^{18}O est compatible avec l'abondance standard, ^{13}CO a très probablement été appauvri. Une explication cohérente serait que ^{12}CO a été enrichi lors d'une récente flambée de formation stellaire et que ^{13}CO n'a pas eu le temps de se former, d'où ce déficit. Ce serait compatible avec le scénario proposé par Block et al. (2006) qui suggère une collision frontale avec une galaxie compagnon proche comme M32. Cette collision explique la présence de deux anneaux et aurait déclenché une flambée de formation stellaire à l'époque de la collision. Ceci est également en accord avec la flambée de formation d'étoile observée près du trou noir, qui aurait eu lieu il y a 200 Myr (Lauer et al. 2012).

Nous confirmons la présence de trois composantes cinématiques détectées en gaz moléculaire, comme discuté par Melchior & Combes (2011). Avec une séparation de 400 km/s et de chaque côté de la vitesse systémique, la configuration du gaz le long du petit axe ne correspond pas à un disque en rotation et ne peut pas être expliquée par une barre. Nous avons aussi vérifié que les paramètres que nous avons initialement proposés sont compatibles avec ces nouvelles observations. En plus du disque principal incliné de 77 degrés avec un angle de position $\text{PA} = 35$ degrés, aussi détecté en HI, il y a un disque nucléaire moins incliné $i = 43$ degrés avec un angle de position $\text{PA} = 53$ degrés. L'angle de position de ce disque nucléaire est également observé dans différents catalogues de sources stellaires (Kaaret 2002; Rosenfield et al. 2012). L'anneau à 0.7-kpc avec $i = 40$ deg et $\text{PA} = -35$ deg est également compatible avec la carte de polarisation de Giessübel & Beck (2014).

Épuisement du gaz à proximité du trou noir.

Andromède réside dans la vallée verte, qui est une zone de transition où la formation d'étoiles est relativement faible notamment au centre, caractérisé par des raies d'émission de faible ionisation (Belfiore et al. 2016). Comme décrit dans Melchior & Combes (2017), nous avons réalisé des observations interférométriques à l'IRAM (Plateau de Bure), qui ont montré l'absence de gaz au niveau du trou noir mais aussi dans la sphère d'influence du trou noir. Au niveau du trou noir, nous avons exclu qu'il y a plus de 4300 M_{sol} de gaz moléculaire pour une largeur de raie (FWHM) de 1000 km/s. Nous avons trouvé un petit nuage de gaz (2000 M_{sol}), vu en projection sur la sphère d'influence du trou noir à 2.4" du centre, mais avons argumenté qu'il est probable qu'il soit vu en projection. En effet, un nuage très dense (et donc plus massif) serait attendu pour résister à la force de marée du trou noir. De plus, ce nuage ne suit pas la rotation du disque stellaire, et sa dispersion de vitesse est 10 fois plus faible que le gradient de vitesse dû à la présence du trou noir.

Cette absence de gaz contredit les prédictions de Chang et al. (2000) qui prévoyait une accumulation de gaz provenant du feed-back stellaire du disque excentrique à 1pc. Nos observations montrent que l'évolution du gaz a dû être différente : ou le gaz a été absorbé par le trou noir, ou il a été expulsé en dehors de la zone centrale ($>4\text{pc}$).

Extinction de l'activité du trou noir d'Andromède et de l'activité de formation stellaire

La galaxie d'Andromède est souvent classée comme un LINER (*Low-Ionisation Nuclear Emitting Region*) de faible puissance, alors qu'elle ne présente aucune activité de type AGN (*Active Galactic Nucleus*), bien qu'elle héberge un trou noir super-massif. Son taux de formation stellaire global est très faible et concentré dans l'anneau à 10-kpc. Il y a très peu de gaz dans la région centrale où aucune formation stellaire n'est détectée. Il y a un faible flux X (Bogdan & Gilfanov 2008) de chaque côté du noyau, qui est pourrait être une signature relique d'une activité passée de l'AGN. De plus, la polarisation du continuum radio (Gießübel & Beck, 2014) révèle quelques inhomogénéités dans la distribution électronique et le gaz chaud ionisé. Cette région est idéale

pour étudier comment la formation d'étoile s'est arrêtée, car il est possible de l'observer à une résolution de quelques parsecs.

Nous avons cartographié cette région en gaz moléculaire (millimétrique) et en gaz ionisé (optique) avec les raies $H\alpha$ et $H\beta$ et les doublets [OIII], [NII], et [SII]. La cinématique est complexe, et peut être interprétée comme la superposition de plusieurs composantes. L'épuisement du gaz dans cette région pourrait être due au trou noir, alors que le scénario d'une collision frontale avec M32 peut rendre compte de la morphologie perturbée de la galaxie avec un anneau interne de 0.7-kpc.

Dans l'optique, nous avons obtenu deux cubes de données SITELLE sur le CFHT. Cet instrument est un interféromètre de Michelson. Le premier cube (filtre SN3 651-685 nm) a été calibré à partir des raies du ciel et la réduction astrométrique a été discutée dans Martin, Drissen & Melchior (2017). Un catalogue de 800 objets stellaires à raie d'émission (majoritairement des nébuleuses planétaires) a été produit, démontrant la qualité des données. La continuation de ce travail est décrite dans mes travaux en cours et mon programme de recherche.

Étude statistique de galaxies proches

Dans le cadre du projet PICS (Chilingarian et al. 2017), nous avons produit le catalogue RCSED (*Reference Catalog of Spectral Energy Distributions*). Ce catalogue de galaxies contient des informations spectro-photométriques multi-longueur d'onde homogènes pour 800299 galaxies proches et à *redshifts* intermédiaires ($0.007 < z < 0.6$), sélectionnées à partir de l'échantillon spectroscopique du *Sloan Digital Sky Survey* (SDSS). Leurs propriétés ont été obtenues à partir d'une nouvelle analyse. Ce catalogue permet des études directes de la formation et l'évolution des galaxies sur les derniers 5 milliards d'années. Nous avons fourni les transformations de couleur pour les galaxies de différentes morphologies et luminosités, ainsi qu'une expression analytique de la forme de la séquence rouge dans différentes couleurs. RCSED propose la photométrie (incluant une correction K) pour 11 bandes photométriques (ultraviolet, optique et proche-infrarouge) publiées par les sondages grand champ de GALEX, SDSS et UKIDSS ; les résultats de l'ajustement de populations stellaires sur les spectres SDSS (dispersions de vitesse, histoires de formation stellaire, métallicités stellaires) calculés pour des flambées d'étoiles instantanées et des modèles de formation stellaire exponentielle décroissante ; les flux des raies d'émission mesurés par les méthodes paramétriques et non-paramétriques et les métallicités des phases gazeuses. Enfin, nous avons relié RCSED à la classification morphologique de *Galaxy Zoo* et aux résultats de décomposition bulbe/disque de Simard et al. (2011). Nous avons construit les relations couleur-magnitude, Faber-Jackson et masse-métallicité, les avons comparées à la littérature ; puis discuté des erreurs systématiques des propriétés des galaxies présentées dans notre catalogue.

RCSED est accessible à partir de services de type Observatoires Virtuels sur le site <http://rcsed.sai.msu.ru/>, qui permet de visualiser simplement le spectre et les paramètres associés à chaque galaxie. Il est également possible de lancer des requêtes SQL.

Description des travaux en cours

- **Analyse de gaz ionisé dans la partie centrale de M31.** Nous avons deux cubes de données avec l'instrument SITELLE au CFHT couvrant 7 raies du milieu interstellaire. Ces cubes ont été réduits et analysés dans le cadre du stage de Barthélémy Launet (Master 2). L'un des cubes a souffert d'un incident technique qui a réduit la résolution demandée. Aussi nous n'avons pas pu être aussi optimiste qu'initialement escompté. Néanmoins, nous avons obtenu des résultats très intéressants sur les nébuleuses planétaires, avec la présence de deux populations dans le bulbe de M31. Ces résultats sont en cours de publication.

- **Analyse de données moléculaires CO obtenues à l'IRAM.** Nous avons obtenu en collaboration avec F. Combes des observations interférométriques du champ central de M31. Dans Melchior & Combes (2017), nous avons analysé le nuage situé en projection dans la zone d'influence du trou noir. Julien Dassa-Terrier, dans le cadre de son travail de thèse, a étendu cette analyse à l'ensemble du cube de données et étudié l'ensemble du gaz moléculaire détecté dans cette région. Ce travail a été publié.
- **Catalogue de galaxies avec des doubles pics d'émission.** Dans le cadre du stage (Master 2) de Daniel Maschmann, nous avons recherché les galaxies présentant un double pic d'émission gazeuse dans leur spectre optique. Cette recherche a porté sur l'ensemble de la base de données RCSED. Un travail minutieux a permis de faire une sélection automatique de 4999 galaxies présentant deux pics d'émission. Une étude préliminaire a montré que la majorité de ces galaxies était probablement des fusions "spectroscopiques", où les deux composantes sont sur la ligne de visée. Nous travaillons actuellement avec Gary Mamon (IAP) pour comparer cet échantillon à des simulations et modèles de galaxies, afin de finaliser notre publication. G. Mamon (Mamon 1992; Mamon 2000; et in prep.) a développé un cadre analytique permettant d'estimer le taux de fusions directes et de collisions rapides en fonction de la masse stellaire et du rapport de masse.
- **Fusions de galaxies naines.** Au sein de l'échantillon précédent, quelques galaxies correspondent à une fusion de galaxies naines. Cela permet de tester le paradigme du modèle Λ CDM, qui prévoit de telles fusions difficiles à observer. Ces galaxies sont en cours d'analyse.
- **Fusions proches de galaxies riches en gaz.** Parmi l'échantillon de galaxies présentant un double pic d'émission, une centaine de galaxies ont l'un de leurs pics qui correspond à la vitesse détectée sur la composante stellaire alors que le second n'a pas de contrepartie dans la composante stellaire observée par SDSS. Ce travail en cours d'analyse montre qu'il s'agit probablement des galaxies en interaction ou des fusions de deux galaxies dont l'une a une fraction de gaz plus importante que l'autre.
- **Activité relique du noyau actif des galaxies de la vallée verte.** Nous avons obtenu du temps sur LOFAR (150MHz) pour observer le centre de M31, et chercher des signes d'activité passé du trou noir. Nous prévoyons de réduire les (nouvelles) données ainsi que des données d'archives. En cas de détection de '*synchrotron aging*', nous prévoyons d'étendre ce travail à d'autres galaxies proches.
- **Milieu interstellaire diffus et extinction de la formation stellaire au sein des galaxies proches du sondage SIGNALS**
Nous prévoyons dans le cadre de la thèse de B. Mazzilli-Ciraulo d'étudier les mécanismes d'extinction de formation stellaire au cœur des galaxies. Dans un premier temps, nous explorons l'existant dans les données archives, avec dans l'idée de chercher à observer un trou de gaz moléculaire dans la partie centrale afin de confirmer ou infirmer les résultats de Belfiore et al. (2016) basés sur l'étude de gaz ionisé observé dans la bande optique.

Résumé des activités d'enseignement

Enseignements en Master :

- Master MEEF : suivi d'étudiants, stage de 2 jours sur activités pédagogiques avec contenu disciplinaire
- Projet de M1 (Physique) – étude du problème de la matière noire à partir de données radio
- Master BMC – cours d'optique pour biologistes

Actions de formation des enseignants

- Service de Formation Continue : Organisation de stages et enseignements associés (eq. TD) 2012-2013 : 8h (+60h hors TdS); 2013-2014 : 49h ; 2014-2015 : 11 h
- Stages européens de 5 jours (30h) dans le dispositif Comenius jusqu'en avril 2013
- Stages nationaux de 2 jours (12h) « Explorons la Voie Lactée », et « À la recherche des exoplanètes »

Développement d'outils pour l'enseignement et d'activités pédagogiques innovantes dans le cadre du projet EU-HOU « *Hands-On Universe, Europe* » depuis 2004 (coordination UPMC de 3 projets européens) ; disponibles sur le site <http://www.euhou.net>

- Développement d'un logiciel d'analyse de données astrophysiques pour l'enseignement
- Développement du premier réseau de radiotélescopes pour l'éducation pilotables à distance
- Développement d'exercices inspirés d'activités de recherche et basés sur ces outils (exoplanètes, constante de Hubble et expansion de l'Univers, mesure de la masse du trou noir de la Voie Lactée, étude de la matière noire, etc.)

Projet européen Comenius multilatéral (Formation Tout au Long de la Vie) – 2010-2012 – coordonné à l'UPMC/Faculté de Physique – « EUHOU-MW, *Connecting classrooms to the Milky Way* »

2012-2013 : 120h

11 partenaires européens de 11 pays différents – Cible : enseignants du secondaire européens – Développement d'outils, et organisation de 3 stages européens – Évaluation interne par sous-traitant et externe par la commission européenne. Équipe LERMA.

Innovation pédagogique et son déploiement dans des enseignements :

- Analyse d'images et spectres comme un outil pluridisciplinaire pour enseigner les sciences
- Approche kinesthésique pour aborder la modélisation en initiation ou support à un travail de simulations
- Utilisation de tutoriels permettant les élèves de travailler en groupe (approche pair-à-pair)
- Utilisation de méthodes de recherche pour l'enseignement des sciences : radioastronomie et observations par Internet. Déploiement de deux radiotélescopes dédiés à l'enseignement utilisables à distance.
- Utilisation d'outils numériques de la communication

Investissement en TICE : interface Web de pilotage des radiotélescopes, maintien d'un site web européen hébergé à l'UPMC www.euhou.net, interface web de traduction pootle pour le logiciel SalsaJ

Responsabilités pédagogiques et actions de coordinations

Coordination de projet européen :

EUHOU-MW *Connecting classrooms to the Milky Way*. Financement Comenius (Programme de Formation Tout au Long de la Vie) 2010-2012 – 11 partenaires européens (dont l'UPMC) de 11 pays différents.

- Développement d'outils pédagogiques

- 3 formations (2j) ayant touché 60 enseignants (européens) du secondaire

Responsable des stages de formation continue (5 jours) EU-HOU proposées dans le cadre du Service de Formation Continue via le dispositif des agences nationales

Comenius « *EUHOU: Hands-On Universe, Europe. Bringing frontline interactive astronomy in the classroom* » - 8 stages de 30h

[Septembre 2010 ; janvier 2011 ; juin 2011 ; avril 2012 ; juin 2012 ; janvier/février 2013 ; mai 2013 ;] mars/avril 2014

Responsable des stages de formation continue (1-2 jours) EU-HOU proposées dans le cadre du Service de Formation Continue (PAF et autres financements) – Radioastronomie et exoplanètes

[22 octobre 2012, 26-27 novembre 2012, 21 mars 2013, 27 septembre 2013, octobre-novembre 2013 (Libreville, Gabon),] 20-21 novembre 2014

Activités d'enseignements en première année de niveau licence

1XM01 Méthodologie du travail universitaire/Astronomie

LXP10 Projet scientifique/Astronomie

2014-2015 : 32h ; 2015-2016 : 32h ; 2016-2017 : 64h ; 2017-2018 : 64h ; 2018-2019 : 96h

Ces modules de méthodologie et projets ont eu pour objectif de mettre l'accent sur les méthodes de travail tout en exigeant un minimum de rigueur scientifique. Ils ont ainsi inclus la réalisation d'une présentation orale et/ou d'un *podcast*, comment valoriser son travail, d'un travail de rédaction (compte-rendu, projets) et exigé la participation active des étudiants, ainsi qu'un travail en autonomie et en groupe. La thématique de ces enseignements est l'astronomie, et les outils du projet « *EU-HOU. Hands-On Universe, Europe* » ont été utilisés. Des séquences ont été proposées sur les thèmes suivants : recherche de planètes extrasolaires, études des cratères d'impact lunaire, observations radio-astronomiques de la Voie Lactée. Des activités kinesthésiques ont été proposées lors de chaque module pour introduire la modélisation du Système Solaire et les lois de Képler (non acquises à l'issue du secondaire). SalsaJ a été utilisé pour réaliser de l'analyse d'image sur ordinateur, ainsi qu'un tableur pour stocker les mesures et faciliter leur analyse. L'interface Web des radiotélescopes a été utilisée par l'un des groupes. Différents éléments méthodologiques ont ainsi été intégrés dans cet enseignement. Des tutoriels ont été proposés pour favoriser le questionnement et le travail en groupe et en autonomie des étudiants. Il y a également des éléments concernant l'utilisation intelligente du « numérique » : être capable de scanner rapidement un document, de le poster au format pdf dans l'interface numérique de travail (moodle), être capable de rédiger un compte-rendu et d'utiliser un correcteur orthographique, prendre conscience de rapidité (voire lenteur) d'exécution des tâches demandées, etc.

Enfin, le travail autour des conférences Horizon inclut (1) un travail bibliographique, de recherche d'information avec la définition préalable de mots clés, (2) la préparation de questions en amont, (3) un travail de prise de notes et de mise au propre de ces notes.

ARE Ateliers de Recherche Encadrée

2014-2015 : 40h ; 2015-2016 : 40h ; 2016-2017 : 40h

Ces ateliers se font en collaboration avec des collègues informaticiens. Ainsi, des cours-TD sont proposés sur 4 semaines en alternance avec l'informatique. Du point de vue de la physique, une activité sur le planétaire (en utilisant la bâche financée par le projet PRES Sorbonne Universités « Activités kinesthésiques ») et les lois de Képler est proposée, ainsi qu'une activité sur les orbites (appliquée au Système Solaire et notre Galaxie). Ensuite, les étudiants par groupe de 4 travaillent sur des sujets bi-disciplinaires sur des thématiques liées à de la physique et des aspects de programmation : études de spectres de vitesses radiales (planètes extrasolaires) et méthodes d'ajustement (e.g. méthode du χ^2 vu en CMP) ; radioastronomie et courbes de rotation et modélisations de cercles et ellipses.



1P001_R/1P002_R CMP Concepts et Méthodes de la Physique – sections renforcées (2014-2015)

24h ; 2014-2015 : 48h ; 2015-2016 : 84h ; 2016-2017 : 50h ; 2018-2019 : 28h

Ce module disciplinaire s'adresse à des étudiants de premières années. Compte-tenu des changements de programmes, ils découvrent un peu la physique quantitative pour la plupart. Avec un groupe de TP et un groupe de TD, j'ai pu me rendre compte de leurs difficultés, ce qui m'a permis d'optimiser mon cours de méthodologie de cette année, en mettant notamment l'accent sur les représentations graphiques, les lectures de graphiques, les ordres de grandeurs, les petits calculs, etc. J'ai réalisé une activité en cours (remplacement) sur le planétaire (représentation des vecteurs vitesse et accélération le long de l'orbite d'une comète).

Autres activités d'enseignement et responsabilités administratives :

Membre de la Commission de Spécialistes (section 34) de Université Pierre et Marie Curie-Paris 6, 2004-2010, 2012-2015

Coordinatrice du projet européen « *EU-HOU, Hands-On Universe, Europe. Bringing interactive frontline astronomy to the classroom* » (projet MINERVA/SOCRATES (2004-2006), projets Comenius (2008-2010; 2010-2012))

Enseignements universitaires 2001-2009 :

- en licence : L3 : statistiques, optique ; L1 : introduction à la physique, méthodologie en bioastronomie

- au niveau master/doctoral : méthodologie (DEA), Formation post-DEA « Partage du Savoir »

- **Participation à la mise en place d'une plateforme d'observations astronomiques (LERMA) pour l'enseignement.** Cette plateforme (terrasse 24/25) livrée avec les locaux du LERMA avait pour ambition d'héberger l'un des radiotélescopes EU-HOU/UPMC de 3m de diamètre dédié à l'enseignement. Demandée avec le soutien de la Faculté de physique et de la licence de physique, cette plateforme servira également aux observations optiques réalisées en licence avec 3 télescopes de 20 cm acquis à l'occasion de l'année mondiale de l'astronomie en 2009. Elle pourra également servir pour héberger des instruments de réception de signaux issus des projets de nano-satellites dans lesquels l'UPMC est impliquée.

- Suivi du projet, installation d'un radiotélescope de 3m (puis non installation)

- Réalisation d'une plaquette (ci-contre) présentant la plateforme

- **Actions de communication (2014-)**

Réalisation d'une plaquette (LERMA) sur la plateforme d'observation UPMC

Réalisation d'une plaquette (Service de Formation Continue) sur les formations EU-HOU

Réalisation d'une bâche d'enseignement (LERMA) pour développer les activités kinesthésiques modélisant la Voie Lactée, utilisées en accompagnement des observations radio-astronomiques.

Projets pédagogiques innovants

Description d'activités mises en œuvre en 2015-2019

Enseignement méthodologique (1XM01)

Il s'agit d'une UE de méthodologie du travail universitaire, qui se base sur la thématique des exoplanètes. Ce domaine assez médiatisé est très attractif pour les étudiants PCGI¹ et permet d'utiliser des notions de physique (gravité) relativement accessibles au niveau L1. Différents aspects méthodologiques ont été explorés pour permettre aux étudiants d'appréhender différentes méthodes de travail, et pour essayer de rendre l'étudiant actif dans ses méthodes d'apprentissage. La plupart des étudiants n'ont jamais produit de travail personnel sur une base régulière et ne savent pas ce que chercher un exercice signifie. L'idée est de les solliciter sur le temps de l'UE, de mettre l'accent sur le questionnement (arriver à formuler un problème et poser des questions), et que le résultat n'est pas forcément essentiel si l'on ne comprend pas son sens.

- Deux séances ont consisté en du **travail en petits groupes sur des tutoriaux** (questionnaires basés sur des problèmes de préconception), sur des notions abordées au lycée (lois de Képler, barycentre, centre de masse, vitesse) et des raisonnements simples (ordres de grandeur). L'accent est mis sur le travail de compréhension et de raisonnement plus que sur des aspects calculatoires.
- Nous avons réalisé une **séance de kinesthésie sur le Système Solaire**, qui permet de modéliser ce système, en mettant encore l'accent sur la compréhension, plus que sur la technicité. Plusieurs concepts sont appréhendés différemment durant ce type d'activité et complètent l'approche plus classique introduite au lycée et utilisée en salle informatique.
- Cette séance a ensuite été exploitée, avec la **réalisation de graphiques et vérification de lois physiques**. Ce type d'analyse appliquée à la thématique de l'UE fait référence aux difficultés rencontrées dans les autres UE disciplinaires (e.g. TP en CMP).
- Une séance a consisté en une **conférence par une intervenante extérieure** (prise de notes, questions), suivie d'un travail de synthèse. Un travail personnel a été demandé en amont (bibliographie, mots-clé et préparation de questions). Une évaluation a été réalisée sous forme de questionnaire à la fin de la séance avec les notes prises par les étudiants. Cela met l'accent sur l'importance de la prise de notes qui ne doit pas se limiter à ce que l'enseignant écrit au tableau. 5 à 10 min des séances classiques sont consacrées à entraîner les étudiants à **prendre des notes** sur une conférence enregistrée des années précédentes. Il leur est demandé de réaliser une **mise au propre** dans les 24h afin d'utiliser la mémoire immédiate.
- Une séance de **lecture d'article de vulgarisation** a mis l'accent sur la compréhension, l'extraction de l'information d'un texte scientifique et l'analyse du contenu de cet article (calculs élémentaires d'ordre de grandeur).
- Une séance est consacrée à des **mini-cours** (concernant les thèmes demandés pour le *podcast*) que les étudiants présentent à leurs pairs.
- Un **travail sur les archives de données** pour retrouver les lois physiques précédemment étudiées est proposé. Cela permet par exemple de vérifier si les étudiants ont vraiment compris les lois établies par Képler pour le Système Solaire et arrivent à les transposer dans des systèmes de planètes extrasolaires.
- Enfin, un travail de synthèse est enfin demandé sous la forme d'un **podcast**.

Concepts méthodologiques :

- Kinesthésie : modélisation avec le corps du Système Solaire, application des lois de Képler, gravité, parallaxe de Mars
- Tutoriaux : lois de Képler, planètes extrasolaires
- Travail en petit groupe, *peer-to-peer*

¹ Physique - Chimie - Géosciences - Informatique

- Lecture d'article – compréhension d'un texte, analyse
- Mini-cours, pédagogie inversée
- Rédaction régulière de comptes-rendus individuels
- Prise de notes et compréhension d'un cours
- Visualisation de paramètres physiques sous forme de graphiques (tableur, papier millimétré)
- Travail de synthèse, *podcast*

Évaluation :

Tous ces travaux ont fait l'objet d'évaluations régulières à chaque séance. Ce contrôle continu a pour but de motiver les étudiants à s'investir durant les séances et à réaliser un effort de rédaction et de formulation scientifique qui leur fait bien souvent défaut. À la 10^{ème} séance (/12), il est demandé aux étudiants de présenter un diaporama qu'ils auront préparé tout au long du semestre. En effet, nous leur demandons de préparer en binôme à l'issue de chaque séance une diapositive sur un point qui les a marqués pendant la séance. Tout matériel inclut dans ces diapositives doit être « fait-maison » ou extrait du matériel fourni en séance.

L'évaluation finale se fait en dernière séance sous la forme d'un *podcast*, qui consiste en une synthèse des travaux précédents. L'activité kinesthésique a été filmée par les enseignants, et les différentes séquences sont proposées aux étudiants sur Sakai. Il est demandé en se basant sur l'activité kinesthésique, complétée éventuellement de diapositives, de produire un *podcast* de 4 minutes en binôme illustrant les 3 lois de Képler, les 3 lois de Newton et la parallaxe de Mars. Ce mode d'évaluation permet aux étudiants de travailler en autonomie, et de produire un *podcast* dont ils peuvent évaluer en amont la pertinence et la qualité. Dans la pratique, les étudiants motivés par le format s'investissent plus que dans la réalisation d'une présentation type diaporama car ils doivent impérativement réaliser la bande son en amont. Proposer des séquences de kinesthésie permet d'éviter le couper-coller sur le Web, qui est généralement pratiqué dans la réalisation de diaporama. Cela exige également une réflexion de la part des étudiants qui doivent faire la synthèse entre les activités kinesthésie et autres activités de l'UE.

Activité kinesthésique :

L'activité kinesthésique pour les 2 groupes a eu lieu le 16 octobre 2015 au rez-de-chaussée de l'Atrium sur le campus Jussieu. Elle a été filmée par les enseignants et la première séance a été co-encadrée par E. Rollinde. Les notions d'attraction gravitationnelle de corps célestes ont été introduites. L'utilisation du planétaire financé par le projet Sorbonne Universités a permis aux étudiants d'appréhender les échelles du Système Solaire, puis de les mettre en mouvement à partir du 1^{er} janvier 2014. Ils ont pu vérifier les lois de Képler, et réaliser des mesures (analysées ensuite en salle informatique). À l'aide d'une lampe laser, ils ont également pu visualiser le phénomène de rétrogradation de Mars.

Cette activité appréciée des étudiants, mais qui peut leur paraître récréative, a été exploitée à la séance suivante, mais également tout au long de l'UE, car les séquences filmées doivent être analysées et présentées lors de l'évaluation finale sous forme de *podcast*.

Organisation d'un concours avec prix :

L'organisation d'un prix pour la réalisation d'un *podcast* dans le cadre de l'UE 1XM01 est motivée par plusieurs points. La plupart des étudiants ne sont pas conscients des enjeux de l'Université, ni n'ont de projet d'avenir. Il s'agit ici de rajouter une émulation entre les deux groupes d'étudiants (40 inscrits) par l'intermédiaire d'un concours.

- **Interface de l'UE avec la recherche.** Le prix étant une mission de 2 nuits d'observation à l'Observatoire de Haute Provence dans le Sud de la France avec un chercheur Guillaume Hébrard sur le télescope T193m équipé du spectrographe SOPHIE. Il s'agit du télescope de 193 cm utilisé par les chercheurs Mayor et Queloz, en 1995, pour mettre en évidence la présence d'une planète autour de l'étoile 51 Pégase: c'est la découverte de la première planète gravitant autour d'une autre étoile que le Soleil. Un programme à long terme, continué avec SOPHIE, a permis la découverte d'une trentaine de planètes extra-solaires. Cela permet de mettre un lien direct avec les enjeux de recherche de cette thématique, illustrant ainsi le lien intrinsèque des universités

avec la recherche. Cela mettra les lauréats dans le cadre d'un lieu de recherche prestigieux et d'interagir avec des chercheurs.

- **Valorisation de l'UE et du projet Kinesthésie de Sorbonne Universités.** Outre le fait d'encourager et valoriser le travail des étudiants, ce concours a permis de sélectionner un *podcast* de qualité qui pourra participer à la valorisation des activités du projet kinesthésie de Sorbonne Universités et de la méthodologie au sein de SFGI². Ce *podcast*, moyennant éventuellement quelques modifications/corrections, pourra être utilisé à des fins promotionnelles et de valorisation, en illustrant ce que peut apporter des activités kinesthésiques en filière PCGI dans une UE méthodologique.

Retour des étudiants sur cet enseignement

Ci-dessous sont listés les retours des étudiants en fin de semestre. Les deux groupes (24 et 13 étudiants) ont réagi différemment car l'interaction n'a pas pu être la même compte-tenu du nombre d'étudiants. Le groupe 2 a assez bien compris les objectifs de cet enseignement.

Enseignement Concepts et méthodes de la physique (CMP)

En 2014-2015, j'ai enseigné TD/TP/colles pour le même groupe de 34 étudiants. Avec une ancienneté de 3 ans dans cette UE, nous avons au sein de ma section essayé de faire prendre conscience aux étudiants ce que nous attendions d'eux. Nous avons fait un cours test en début de chaque séance de TD sur une question traitée au TD précédent. Nous avons fait le constat qu'aucun étudiant ne fournissait de travail personnel régulier, et qu'un tiers des étudiants travaillait de façon irrégulière. Les étudiants reconnaissaient ne pas fournir de travail personnel et les deux tiers ont fait essentiellement acte présence. Notre investissement pédagogique était un peu réduit à néant vu ce manque de motivation et d'intérêt de nos étudiants. Cela s'est concrétisé par un faible taux de validation de cette UE (30%).

En 2016-2017, un couplage entre CMP et l'enseignement méthodologique décrit ci-dessus a été initié. Je suis ainsi un même groupe d'étudiants en TP CMP et en 1XM01. Cela permet d'insister sur certaines méthodes de travail dans deux contextes différents. Néanmoins, comme le niveau de ce groupe est bien meilleur que celui de l'an passé, il ne sera pas aisé d'estimer l'impact de ce type d'effort.

Enseignement Physique du Mouvement

J'ai pris un groupe de TD depuis 2016-2017. Cet enseignement ambitieux et très intéressant au niveau contenu a été confronté à la baisse de niveau des étudiants liée à la modification des programmes de lycées.

Projet européen de formation des maîtres EU-HOU « Hands-On Universe, Europe »

Initié en 2004 et coordonné à l'UPMC, ce projet a développé des ressources pédagogiques à l'interface avec la recherche en astronomie à destination des enseignants du secondaire. Un programme de formation des maîtres européen (et puis récemment au niveau de l'Île-de-France) a été développé dans le cadre du Service de Formation Continue de l'UPMC. Ces ressources bénéficient du soutien de l'Inspection de l'Éducation Nationale, et un certain nombre de nos outils ont été inclus dans le programme de physique (analyse d'images avec le logiciel SalsaJ, recherche d'exoplanètes...) Ce projet est reçu la médaille d'argent de la Commission Européenne en 2009 pour l'innovation dans les TICE.

Un certain nombre de ces ressources pédagogiques ont été réinvesties sous différentes formes pour nos étudiants UPMC : enseignements méthodologiques, Ateliers de Recherche Encadrée, stages de L3, etc.

² Service Général de la Formation Initiale de l'UPMC.